

Utilisation des éphémérides astronomiques.

OBJECTIF - PUBLIC - LOGICIEL - MATERIEL - AVANTAGES - AUTEUR DU DOCUMENT

- LE DOCUMENT

OBJECTIFS :

Apprendre à se connecter et à naviguer sur Internet.
Récupérer et traiter des fichiers de données.
Etudier les mouvements des planètes ou de leurs satellites.

PUBLIC :

Classes de Seconde (nouveau programme), Première ou Terminale S de lycée.

LOGICIEL :

Logiciel de traitement de texte.
Logiciel tableur - grapheur.
Logiciel de navigation sur Internet.

MATERIEL :

Ordinateur PC à écran couleur, équipé de WINDOWS 95 ou ultérieur.
Accès à Internet.

AVANTAGES :

Le site du Bureau des Longitudes <http://www.bdl.fr/> est librement accessible à toute personne ayant accès à Internet. Un élève ou un groupe d'élèves peut donc se connecter et mener une recherche personnelle, soit à domicile, soit en salle d'informatique ou au C.D.I.

AUTEUR DU DOCUMENT :

Jacques FORDEBRAS Lycée Edouard BRANLY 8, rue BAUYN de PERREUSE
94130 NOGENT sur MARNE
Adresse e - mail : jacques.fordebras@free.fr

Utilisation des éphémérides astronomiques.

Le site Internet du Bureau des Longitudes (ou Institut de Mécanique céleste) est librement accessible à l'adresse <http://www.bdl.fr/>. Il propose, entre autres, une banque de données sur les propriétés et les caractéristiques des planètes du système solaire et de leurs satellites, y compris un grand choix de comètes et d'astéroïdes. Il présente également une banque de photographies assez riche. Il offre surtout la possibilité de calculer les éphémérides (positions dans divers repères, vitesses relatives) des astres du système solaire, dans le référentiel et à la date choisis. Les résultats des calculs peuvent être récupérés, soit par téléchargement d'un fichier HTML, soit en utilisant les fonctions Copier / Coller de Windows. Dans ce qui suit, nous allons présenter deux exemples d'utilisation, l'un pour l'étude d'une rétrogradation de Mars, l'autre pour examiner les mouvements des satellites galiléens de Jupiter et vérifier la troisième Loi de Kepler.

I – Rétrogradation de la planète Mars en 1996.

Après une première page d'accueil qui propose le choix entre le français et l'anglais, on sélectionne le serveur des éphémérides, puis l'option "éphémérides de position des corps du système solaire". L'écran comporte trois fenêtres distinctes, commandées chacune par un "ascenseur". La fenêtre en haut, à gauche, présente les possibilités offertes et propose une aide sous forme de liens avec un mode d'emploi et une explications des termes utilisés et des paramètres calculés. Celle de droite permet de choisir les différentes options de calcul (choix des astres, dates, repères, types de coordonnées, etc...). La fenêtre inférieure est celle où apparaîtront les résultats des calculs.

Pour cette étude, nous choisissons la planète Mars, la date de début des calculs (dans notre exemple, le 01/09/1996 à 00h00 UTC), le nombre de dates (400), le pas d'échantillonnage (1 jour), un repère géocentrique (dans le cas d'un repère topocentrique, il faudrait fixer un pas multiple de 86164 s, soit un jour sidéral, afin d'éliminer le mouvement apparent dû à la rotation de la Terre), des coordonnées sphériques basées sur l'écliptique. Les autres choix sont fixés par défaut, et les changer n'apporte rien d'intéressant.

Lorsque tous ces paramètres sont définis, on lance le calcul. Quelques secondes suffisent pour que les résultats apparaissent dans la fenêtre inférieure (au format texte simple).

Pour récupérer les résultats dans un logiciel de traitement de texte, nous utiliserons, après avoir sélectionné l'ensemble des résultats, le bouton de commande Copier puis, après l'ouverture du traitement de texte, le bouton de commande Coller. Nous obtenons alors un fichier texte contenant l'ensemble de ces résultats.

Date UTC Long. Lat. Distance V.Mag Phase Elong.
h m s ° ' " ° ' " ua. o o

1 9 1996 0 0 0.00 114 27 52.278 +00 50 32.53 2.116245 1.51 26.85 44.43
2 9 1996 0 0 0.00 115 6 2.772 +00 51 15.37 2.111312 1.51 26.99 44.76
3 9 1996 0 0 0.00 115 44 9.552 +00 51 58.26 2.106325 1.51 27.13 45.09

Extrait du fichier initial " Retro Mars 1.doc ".

Ce fichier - texte n'est pas directement utilisable par un tableur, car les différentes valeurs sont séparées par des espaces et non par des tabulations. Il faut le mettre en forme. Le mode opératoire proposé ci-dessous est applicable avec la suite Office 97 (Word et Excel) mais les mêmes possibilités existent certainement dans tous les ensembles de logiciels traitement de textes / tableur.

Nous commencerons par supprimer le début et la fin du fichier, afin de ne conserver que les en-têtes des colonnes de résultats, les unités et les valeurs numériques.

Pour que le fichier puisse être reconnu par le tableur comme un tableau de valeurs, il faut éliminer tous les espaces et les remplacer par une tabulation. Ce n'est pas simple, car le nombre d'espaces est très variable. Je propose la démarche suivante :

1. Utiliser la commande Rechercher / Remplacer pour remplacer, dans l'ensemble du texte (commande " Remplacer tout "), deux espaces par un seul espace. Recommencer l'opération autant de fois que nécessaire pour que tous les espacements soient ramenés à un espace et un seul.
2. Il faut séparer les éventuels signes " + " ou " - " des valeurs numériques. En effet, certaines valeurs des latitudes sont négatives, mais le signe " - " n'apparaît que sur le nombre de degrés, et pas sur ceux des minutes ou des secondes. De plus, si le nombre des degrés est 0, le signe " - " se perd lors de la recopie dans le tableur car celui-ci n'interprète pas correctement " -0 ". Pour cela, on doit remplacer, dans tout le texte, les " + " par un " + " suivi d'un espace, et de même les " - " par " - " suivi d'un espace.
3. Il faut maintenant remplacer, dans tout le texte, les espaces par des tabulations. En effet, ce sont ces tabulations qui permettent au tableur, lors de la recopie du fichier dans celui-ci, de séparer les différentes colonnes. Mais cela n'est pas simple, car on ne peut pas utiliser la touche de tabulation pour introduire une tabulation dans " Remplacer par " ! On peut résoudre la difficulté de la façon suivante : insérer au début du texte une tabulation, puis sélectionner cette tabulation et utiliser le raccourci - clavier CTRL-C pour recopier cette tabulation dans le presse papier ; ensuite, utiliser la commande Remplacer en introduisant un espace dans la case " Rechercher : " et en tapant le raccourci - clavier CTRL-V dans la case " Remplacer par : " ; la tabulation est alors introduite dans cette case, et le remplacement peut avoir lieu !
4. Si le tableur est paramétré pour utiliser la virgule comme séparateur décimal, il faudra encore remplacer, dans tout le fichier, les points décimaux par des virgules. (Ceci peut également être fait plus tard, après recopie du fichier dans le tableur).

Date UTC Long, Lat, Distance V, Mag Phase Elong,
h m s o ' ' ' o ' ' ' ua, o o
1 9 1996 0 0 0,00 114 27 52,278 + 00 50 32,53 2,116245 1,51 26,85 44,43
2 9 1996 0 0 0,00 115 6 2,772 + 00 51 15,37 2,111312 1,51 26,99 44,76
3 9 1996 0 0 0,00 115 44 9,552 + 00 51 58,26 2,106325 1,51 27,13 45,09

Extrait du fichier obtenu " Retro Mars 2.doc ".

Lorsque toutes ces modifications sont réalisées, on peut recopier le fichier (après l'avoir prudemment sauvegardé...) dans le tableur, en sélectionnant tout et en utilisant le bouton de commande Copier, puis, après avoir ouvert le tableur, le bouton de commande Coller : le fichier est alors recopié dans le tableur, et les données sont classées (en principe...) en colonnes. Les en-têtes de colonnes et les unités, par contre, ne sont pas à leur place, mais il est facile de les y remettre.

	Date	UTC	Long,	Lat,	Distance
	h	m	s	o	'
1	9	1996	0	0	0
2	9	1996	0	0	0
3	9	1996	0	0	0

Extrait du tableau obtenu : " Tableau initial " du dossier " Retro Mars.xls ".

Les colonnes O à R (distance, vitesse, phase et élongation) ne sont pas utiles pour notre étude, nous pouvons donc les supprimer.

Les colonnes B à G contiennent la date et l'heure, sous forme décomposée : jour, mois, année dans les colonnes B à D, heure, minutes, secondes et centièmes dans les colonnes E à G (ici, dans les lignes 4 à 403).

Nous allons créer, dans la colonne A, une valeur décimale regroupant l'ensemble de ces informations : pour cela, il suffit d'introduire en A4 la formule suivante :

= DATE(D4 ;C4 ;B4) + TEMPS(E4 ;F4 ;G4)

puis de faire afficher le résultat en format Date adapté (date et heure) et de recopier la cellule A4 dans les cellules A5 à A403. Enfin, sélectionner la colonne A et utiliser les commandes Copier puis Collage spécial / Valeurs pour fixer les valeurs de cette colonne. On peut alors effacer (sans les supprimer) les colonnes B à G qui ne sont plus utiles.

Les colonnes H à J contiennent les longitudes angulaires en degrés, minutes et secondes. Nous créons dans la colonne G une longitude décimale en introduisant dans la cellule G4 la formule :

= H4 + I4/60 + J4/3600

puis en recopiant cette formule dans les cellules G5 à G403, puis en utilisant les commandes Copier et Collage spécial / Valeurs sur la colonne G. On peut effacer (sans les supprimer) les colonnes H à J maintenant inutiles.

Les colonnes K à N contiennent les latitudes angulaires, dont le signe (contenu dans la colonne K) peut être positif ou négatif. Nous allons donc d'abord procéder comme pour les longitudes, en créant en O4 la formule :

= L4 + M4/60 + N4/3600

qui calcule la latitude décimale, puis en P4 la formule :

= SI(CODE(K4)=45 ;-P4 ;P4)

qui affectera au résultat le signe voulu (le signe " - " correspond au code ASCII 45).

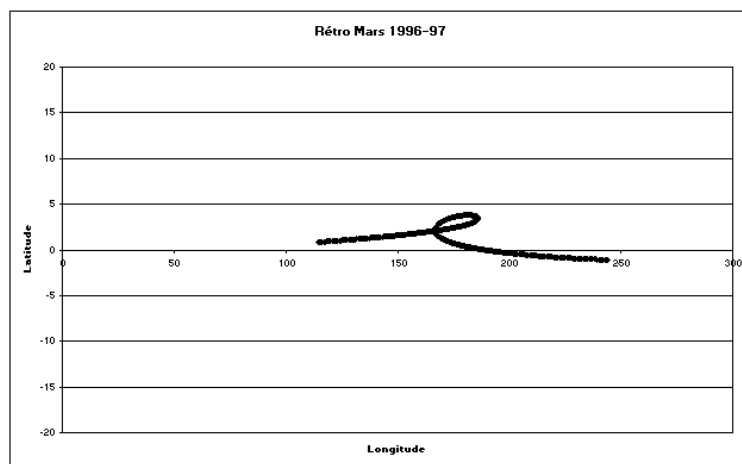
Nous recopions ensuite ces deux formules, respectivement dans les cellules O5 à O403 et P5 à P403, puis nous utilisons sur la colonne P les commandes Copier et Collage spécial / Valeurs.

Il ne nous reste plus qu'à nettoyer le tableau en éliminant toutes les colonnes inutiles, de façon à ne conserver que les dates et heures et les longitudes et latitudes décimales.

Date/Heure	Longitudes	Latitudes
1/9/96 0:00	114,464522	0,84236944
2/9/96 0:00	115,10077	0,85426944
3/9/96 0:00	115,735987	0,86618333

Extrait du tableau obtenu : " Tableau final " du dossier " Retro Mars.xls ".

Pour visualiser le résultat, nous créons, à partir des cellules B4 :C403, un graphique en nuage de points avec les longitudes en abscisses et les latitudes en ordonnées. Il est nécessaire d'ajuster les échelles pour obtenir une bonne représentation de la rétrogradation de Mars. Attention cependant : le graphique est inversé par rapport au mouvement réel de la planète, qui se déplace vers l'ouest en général et vers l'est lors de la rétrogradation.



Graphique obtenu : " Graphique I " du dossier " Retro Mars.xls ".

Il peut être intéressant de comparer le résultat obtenu avec celui que donnerait un logiciel d'astronomie, ou encore avec les diapositives de la rétrogradation de 1990 fournies par le C.L.E.A. (26 parc de la Bérengère 92210 Saint-Cloud).

II – Mouvements des satellites galiléens de Jupiter.

Après avoir accédé au serveur d'éphémérides, nous choisissons l'option " Ephémérides des satellites naturels des planètes ", et les paramètres suivants : coordonnées relatives (planétocentriques), satellites J-1 à J-4 de Jupiter (respectivement Io, Europe, Ganymède et Callisto), coordonnées tangentielles, calcul des coordonnées relatives et des distances apparentes, date du 01/05/2000 à 0H00, calcul sur 100 pas de 4h.

Comme dans l'exemple précédent, nous utilisons les commandes Copier et Coller pour obtenir un fichier - texte.

Date	X 1					X 2	X 3	X 4	Y 1	Y 2	Y 3	Y 4	DAJS1	DAJS2	DAJS3	DAJS4	
An	M	J	h	m	s	(")	(")	(")	(")	(")	(")	(")	(")	RJ	RJ	RJ	RJ
=====																	
2000	5	1	0	0	0.0	8.199	96.806	214.335	389.417	7.739	24.397	62.676	113.750	0.7	6.0	13.5	24.5
2000	5	1	4	0	0.0	58.265	60.372	197.997	379.652	22.258	11.983	55.805	109.370	3.8	3.7	12.4	23.9

Extrait du fichier initial " Satellites Jupiter 1.doc ".

Le traitement de ce fichier est proche de celui décrit plus haut, avec quelques nuances. On commence par éliminer le début et la fin du fichier, en conservant les en-têtes de colonnes et les unités. Puis on supprime les espaces et on les remplace par des tabulations en suivant les processus décrits au I - . On remplace également, si nécessaire, les points par des virgules. On ne peut malheureusement pas supprimer les sauts de ligne (" retour chariot ") qui donneront des lignes vides dans le tableau.

Date	X	1	X	2	X	3	X	4	Y	1	Y	2	Y	3	Y	4	DJ
An	M	J	h	m	s	(")	(")	(")	(")	(")	(")	(")	(")	RJ	RJ	RJ	RJ
2000	5	1	0	0	0,0	8,199	96,806	214,335	389,417	7,739	24,397	62,676	113,750	0,7	6,0	13,5	24,5
2000	5	1	4	0	0,0	58,265	60,372	197,997	379,652	22,258	11,983	55,805	109,370	3,8	3,7	12,4	23,9

Extrait du fichier obtenu " Satellites Jupiter 2.doc ".

On peut alors utiliser les commandes Copier et Coller pour transférer l'ensemble du fichier au tableur et obtenir un tableau de données en colonnes.

Date	X	1	X	2	X
An	M	J	h	m	s
2000	5	1	0	0	0
2000	5	1	4	0	0

Extrait du tableau obtenu : " Tableau initial " du dossier " Satellites Jupiter.xls ".

Dans ce tableau, des lignes vides sont intercalées entre les lignes de données, et il faudra d'abord éliminer ces lignes vides. Comme dans l'exemple précédent, les colonnes B à G contiennent la date et l'heure, on pourra donc utiliser le même procédé pour créer une valeur décimale unique, par la formule :

= DATE(D7 ;C7 ;B7) + TEMPS(E7 ;F7 ;G7)

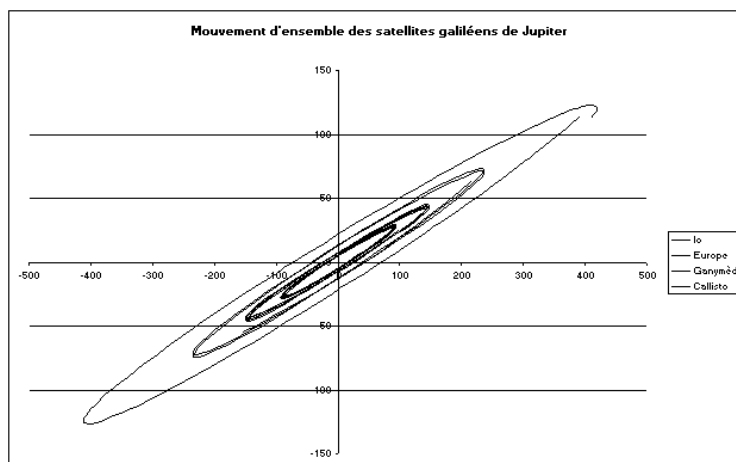
créée dans la cellule A7 et recopiée dans la colonne A. Les colonnes B à E contiennent les coordonnées angulaires X (en secondes) et les colonnes F à I contiennent les coordonnées angulaires Y (également en secondes) des satellites, mesurées à partir du centre de la planète. Les colonnes J à M contiennent les distances, mesurées en rayons de Jupiter (RJ), des satellites à la planète (DAJ). Il n'y a rien à modifier dans ces colonnes.

Date/heure	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2
	(")	(")	(")	(")	(")	(")
1/5/00 0:00	8,199	96,806	214,335	389,417	7,739	24,397
1/5/00 4:00	58,265	60,372	197,997	379,652	22,258	11,983
1/5/00 8:00	88,714	18,668	177,467	368,452	29,262	-1,459

Extrait du tableau obtenu : " Tableau final " du dossier " Satellites Jupiter.xls ".

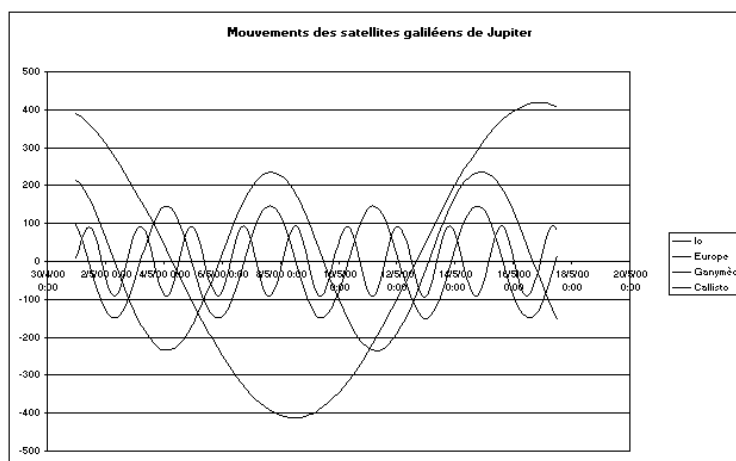
Plusieurs graphiques intéressants peuvent être créés. On peut, par exemple, construire un graphe en nuage de points pour chacun des satellites, avec X en abscisses et Y en ordonnées. Ces différents graphiques sont inclus sous les noms " Io ", " Europe ", " Ganymède " et " Callisto ", dans le dossier " Satellites Jupiter.xls ". Attention : les axes ne sont pas orthonormés.

On peut aussi, pour les comparer plus facilement, construire ces 4 mouvements sur le même graphique, avec 4 séries de données différentes.



Graphique obtenu : " Ensemble " du dossier " Retro Mars.xls ".

On peut également tracer, en fonction de la date, les coordonnées X1 à X4 par exemple.



Graphique obtenu : " Ensemble 2 " du dossier " Retro Mars.xls ".

On peut alors, par exemple, à partir du tableau, mesurer la période de chacun de ces satellites et la longueur du demi - grand axe de son orbite, ce qui permet de vérifier la troisième loi de Kepler. Des résultats (qui peuvent certainement être affinés) sont proposées dans la feuille " Kepler " du même dossier " Satellites Jupiter.xls ".

III – En guise de conclusion.

Les deux utilisations proposées ici ne sont bien évidemment que deux exemples. Beaucoup d'autres études seraient envisageables, par exemple sur les mouvements des planètes en repère héliocentrique, les comètes disponibles, voire même certains astéroïdes. L'étude comparée des satellites des différentes planètes pourrait permettre de déterminer approximativement les masses de celles-ci, et de comparer à celles fournies par la Banque de données. Ceci pourrait constituer un thème de recherche intéressant pour un groupe d'élèves, dans le cadre d'un TPE par exemple.

P.S. : Les fichiers .DOC et .XLS mentionnés dans cet article sont disponibles en téléchargement par message électronique à l'auteur.

jacques.fordebras@free.fr